

論文 モルタル充填式スリーブ継手を用いた PCa 耐力壁の構造性能に関する研究

高実子 光^{*1}・榎谷 栄次^{*2}・新藤 健太^{*3}・謝 爽^{*4}

要旨：モルタル充填機械式鉄筋継手で接合された PCa 耐力壁脚部の接合界面におけるせん断伝達に関して行われた研究は極めて少ないため、影響因子がせん断伝達に与える影響に関して曲げせん断実験によって調べた。また接合界面におけるせん断能力を摩擦力による評価式で表し、実験結果との比較検討を行った。その結果、RC 部材、プロトタイプと同等あるいはそれ以上の構造性能を発揮していることが確認された。また評価式を用いた計算値と実験値から、計算値はせん断伝達能力をよく推定している。

キーワード：耐力壁、プレキャスト、継手、接合モルタル、かさ上げ高さ、

1. はじめに

壁式プレキャスト鉄筋コンクリート(以後 PCa と呼ぶ)構造は、モルタル充填機械式鉄筋継手を用いたウェットジョイント構工法によって発展してきたが、この継手で接合された PCa 耐力壁脚部の接合界面におけるせん断伝達に関して行われた研究は極めて少ない。

本研究は、モルタル充填機械式スリーブ継手で接合された耐力壁脚部をモデル化し、接合界面から継手端部までの距離(以後かさ上げ高さと呼ぶ)、接合モルタルの種類、鉛直方向中央部接合筋(以後中央筋と呼ぶ)、継手鉄筋の材種、鉄筋径及び継手周辺の補強方法、軸方向力の有無といった影響因子が接合界面のせん断伝達に与える影響に関して、曲げせん断実験によって調べた。また、接合界面におけるせん断能力を摩擦力による評価式で表し、実験結果との比較検討を行った。以下に研究成果を報告する。

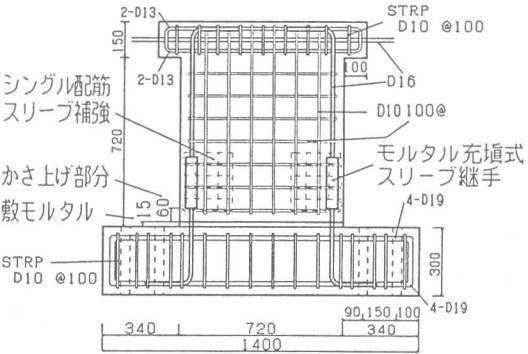


図-1 試験体配筋図(WPC-T2)

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体WPC-T2(プロトタイプ)

表-1 試験体概要一覧

を図-1に示す。モルタル充填式スリーブ継手を表-1に示すように PCa 部材(WPC-T1~T7)に適用し、合計 8 体作成した。うち 1 体は PCa 部材と比較するための継手のない RC 部材である。試験体に

試験体名	壁 厚 (mm)	継 手 有 無	鉛直方向 接合筋径	鉛直方向 接合筋種類	軸 力 有 無	スリーブ かさ上げ高さ	接合モルタル 種 類	スリーブ周辺 補強方法	備 考	
WRC	120	無				—	—	—	一体打ち	
WPC-T1		有	2-D16	SD295A	有	0mm	注入グラウト 15mm	シングル配筋	—	
WPC-T2			3-D16			60mm	敷モルタル 15mm		プロトタイプ 中央筋あり	
WPC-T3			パネル部 2-D16							
WPC-T4			脚部 2-D16							
WPC-T5			パネル部 SD295A 脚部 SD345	無				スパイラル筋		
WPC-T6			2-D16						SD295A	
WPC-T7			SD295A							

使用したコンクリート、敷モルタル、注入グラウト及び鉄筋の材料性状をそれぞれ表-2、表-3及

* 1 関東学院大学大学院 (正会員)
* 2 関東学院大学教授 工学部建築学科、工博 (正会員)
* 3 関東学院大学大学院 (正会員)
* 4 関東学院大学大学院 (正会員)

び表-4に示す。

2.2 加力方法及び測定方法

加力は、図-2に示すように水平方向に押し引き両用の30 tオイルジャッキにより正負交番繰り返し荷重を与え、またWPC-T6以外の軸方向力を加える試験体には、鉛直方向に300t油圧シリンダーオイルジャッキによって $\sigma_0 = 10 \text{ kgf/cm}^2$ の一定軸方向力を与えた。加力スケジュールを図-3に示す。

頂部及び各部の水平変位、脚部の目開き及びすべり変位は、図-4に示すようにピストン型高感度変位計によって

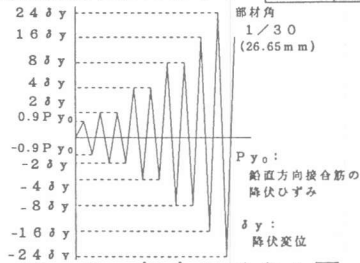


図-3 加力サイクル図

測定し、鉛直方向接合筋のひずみはスリーブの上、下端部に、また、壁の横筋のひずみは中央部に張り付けられたワイヤーストレインゲージによって測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 破壊性状

各試験体の最終破壊性状を図-5に示す。全試験体とも鉛直方向接合筋降伏前に敷モルタル-下部スタブ間の接合界面に初亀裂が発生し、その後WPC-T1以外のP C a部材はパネル部-敷モルタル、敷モルタル-下部スタブ間の接合界面の両面で亀裂が貫通した。P C a部材は主に負サイクル時の引張側コンクリートに付着亀裂(図-5-①)が入り、スリーブのかぶりコンクリート厚が少なかったため、スリーブとの付着劣化を引き起こした。また、WPC-T2~T7試験体では敷モルタルの破壊を生じ、P C a部材はすべての試験体において最終的にかぶりコンクリートの剥落を生じた。これは全試験体にいえる接合界面付近の壁の横筋の配筋不足によって、接合界面と継手端部間のコンクリートの支圧効果²⁾が大きくなったためだと思われる。なお他試験体と異なりWPC-T1に

は、負サイクル時の引張側端部で接合界面に沿ってではなく斜めに亀裂(図-5-②)が生じた。

表-2 コンクリート試験結果一覧

試験体名	材令7日		実験時			材令(日)
	圧縮強度 (kgf/cm^2)	引張強度 (kgf/cm^2)	圧縮強度 (kgf/cm^2)	引張強度 (kgf/cm^2)	ヤング係数 $\times 10^{-4}$ (kgf/cm^2)	
WRC	218	355	31.1	2.57	0.18	29
WPC-T1	254	415	30.2	2.37	0.12	41
WPC-T2	228	372	27.2	1.72	0.23	41
WPC-T3	238	389	29.3	2.02	0.12	34
WPC-T4	212	345	32.8	2.24	0.21	44
WPC-T5	213	348	29.5	2.92	0.18	42
WPC-T6	250	407	34.7	2.06	0.13	39
WPC-T7	250	408	27.9	2.38	0.10	35

表-3 敷モルタル、注入グラウト試験結果一覧

試験体名	敷モルタル		注入グラウト	
	材令(日)	圧縮強度 (kgf/cm^2)	材令(日)	圧縮強度 (kgf/cm^2)
WPC-T1	7	426	7	743
WPC-T7	13	459	28	828

表-4 鉄筋引張試験結果一覧

鉄筋径	種類	引張強度 (kgf/cm^2)	降伏点強度 (kgf/cm^2)	ヤング係数 $\times 10^{-4}$ (kgf/cm^2)	伸び率 (%)
D10	SD295A	5190	3650	1.46	23.4
D13		5010	3430	1.55	19.6
D16		4940	3340	1.65	21.3
	SD345	5310	3610	1.66	20.9

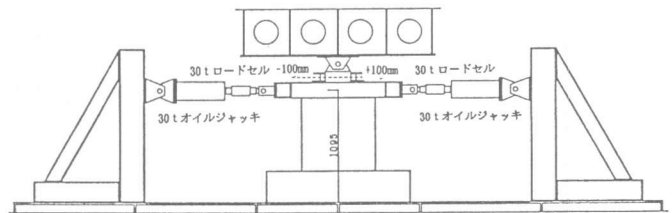


図-2 加力装置図

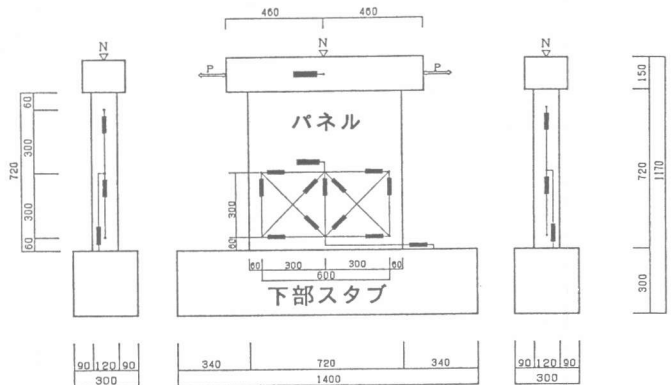
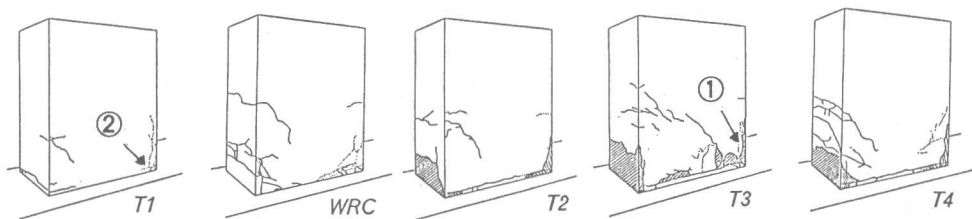


図-4 変位計取付詳細図



3.2 荷重—変形履歴曲線

プロトタイプであるWPC-T2と他7体とを比較検討できる、実験より得られた荷重—部材角曲線に対する包絡曲線を図-6、そのプロトタイプの荷重—部材角曲線を図-7に、各試験体の最大荷重の比較を

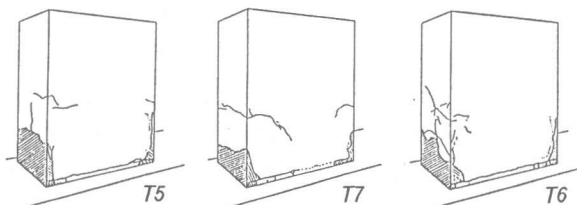


図-5 最終破壊性状

←負 正→

図-8に示す。ここで、P C a部材すべての負サイクルにおいて正サイクルとの挙動の違いがみられるが、これは負サイクル時の壁脚のすべり量が頂部変位と同じような上昇（壁脚と頂部の平行移動）を示し、荷重が変位に対して上がらない現象が起きたためだと考えられるが、原因がはっきりと究明されていないため検討するには至っていない。したがって正サイクルのみについて検討を行う。またWPC-T2をプロトタイプとして比較検討を行う。

全試験体において著しい耐力低下はみられないが、WPC-T4（ π 部材鉛直方向接合筋 D13使用）は、8サイクル以降、約12%の耐力低下がみられ、WPC-T5（脚部鉛直方向接合筋SD345 使用）は4サイクルで最大荷重を迎えたがそれ以降の耐力の上昇はみられなかった。これによりT4、T5ともにWPC-T2（プロトタイプ）と比べて多少靱性が低いと思われる。また荷重に差が出ているWPC-T3（中央筋あり）、WPC-T6（軸方向力なし）はT2と比べ、前者は中央筋による影響で耐力が高く、

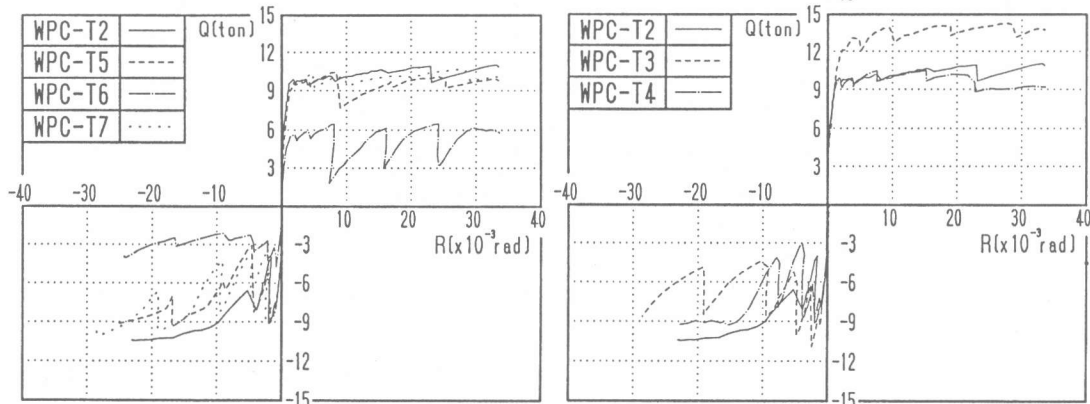


図-6 包絡曲線

剛性、靱性ともに上回っており、後者は軸方向力がないことから摩擦力が減少したため耐力が低く、剛性、靱性ともに下回っていると考えられる。WPC-T2と他の試験体を比較すると、WRC(RC部材)との最大荷重の比較については、WPC-T2のスリーブのかぶりコンクリート厚の薄さが原因で多少の違いがでているがほとんど同等だと思われる。WPC-T1(スリーブかさ上げ高さ0mm)については最大荷重がWPC-T2を上回っている。これは、T1に他試験体と異なった、接合界面から斜めに入ったコッター効果を生じると思われる亀裂が入り、せん断抵抗力が増加したため耐力が上回ったと考えられ、WPC-T7については、T2とあまり差がみられないことからスリーブ周辺の補強による影響がほとんどないと思われる。全試験体において耐力低下がほとんどみられないことから靱性が高い傾向にあると考えられる。なお、軸方向力ありの試験体の荷重-部材角曲線については、付加モーメントを考慮しておらず、例にとると、最終時の部材角 33×10^{-3} rad時の付加荷重は、約0.29 tとなる。

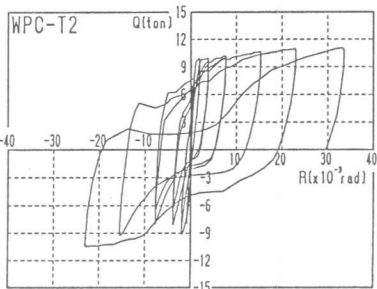


図-7 荷重-部材角曲線

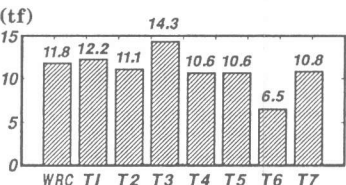


図-8 最大荷重の比較

3.3 試験体の変形特性

図-9にプロトタイプであるWPC-T2について全体変形に対する変形成分の割合を示す。

この図からもわかるように、正サイクルでは全体変形成分の約50%以上が目開きによる回転変形によって占められており、負サイクルでは正サイクルとは異なりすべりによる変形が約50%前後を占めている。またサイクルを増すごとにすべりの割合が増える傾向にあることが認められた。なお、回転変形は接合界面部分のみの目開き量から算定し、曲げ変形は接合界面の目開き量を除いたパネル部中の目開き量から算定した。

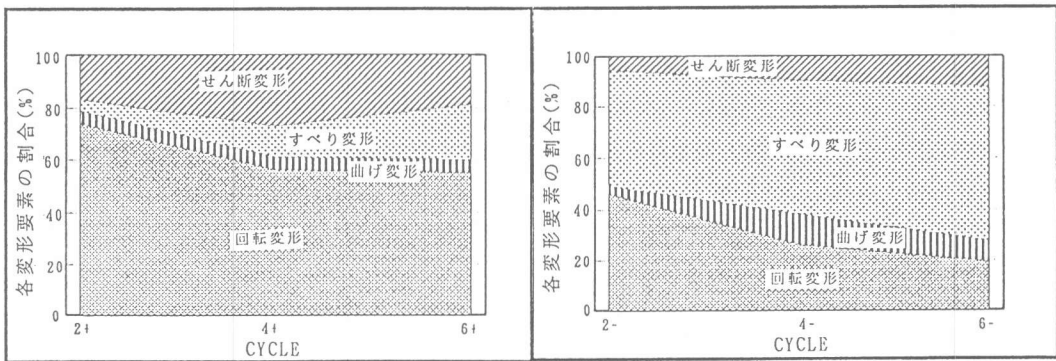


図-9 全体変形に対する各変形成分の割合
WPC-T2 + サイクル(左) - サイクル(右)

3.4 エネルギー吸収能力

荷重-部材角に関する履歴曲線から得られた、各サイクル毎のエネルギーを累加した値(累積エネルギー)と部材角の関係を図-10に示す。WPC-T2(プロトタイプ)と他の試験体を比べると、WRC、WPC-T3、T4、T5、T7のエネルギー吸収能力はほとんど同等であるといえる。WPC-T1については、エネルギー吸収能力の増加がみられる。これは、接合界面から斜めに入ったコッター効果を生じると思われる亀裂によるすべり量の低下が考えられる。逆にWPC-T6については、他のP C a部材と比べて著

しく低下しているのが認められる。これは軸方向力がないことによる摩擦力の低下、大幅なすべり量などが考えられる。

3.5 等価粘性減衰定数

履歴曲線から得られた等価粘性減衰定数と部材角の関係を図-11に示す。全試験体において、最大荷重時で14～16%に存在し、最終的には差はほぼみられなかった。WPC-T6のみ多少上回っているが、これは軸方向力がないためと思われる。全試験体において約 10×10^{-3} rad以降、復元力はあまり向上しないことが認められた。

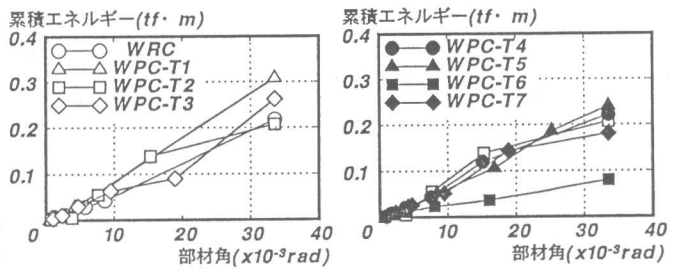


図-10 部材角と累積エネルギーの関係

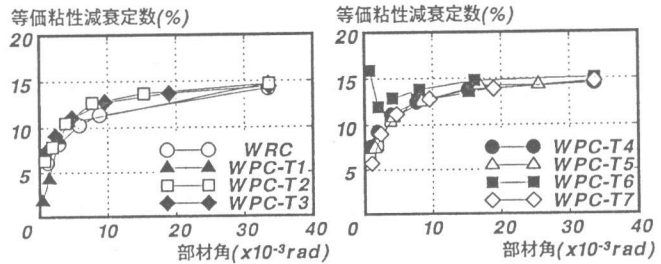


図-11 部材角と等価粘性減衰定数の関係

4. 接合界面のせん断伝達能力

曲げモーメント、せん断力及び軸方向力を受け、接合モルタルと鉛直方向接合筋によって接合されたP C a耐力壁では、図-12(WPC-T3)に示すように接合筋の降伏引張力と釣り合った圧縮ストラットが形成される。これを圧縮ストラット-タイ作用と呼ぶ。また、軸方向力によって斜め圧縮ストラットも形成される。これをアーチ作用と呼ぶ。この2つの圧縮ストラットが壁脚部の圧縮領域に圧縮応力を生じさせる。接合界面にせん断力が作用すると、この圧縮応力によって起きる摩擦力が抵抗するメカニズムが接合界面で形成される。また、界面では摩擦力以外にも接合筋によるダウェル効果を生じるが、ここでは考慮しない。

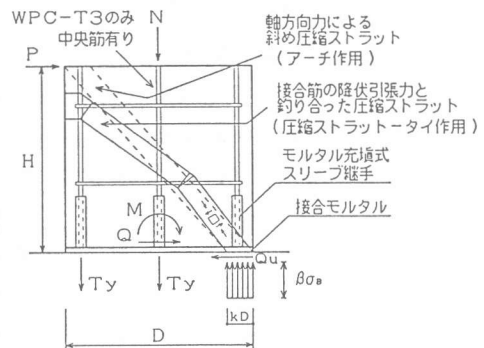


図-12 圧縮ストラット-タイ作用とアーチ作用によるせん断伝達

これより界面におけるせん断伝達能力を圧縮ストラット-タイ作用 Q_{ut} とアーチ作用 Q_{ua} の累加式として表すと、次式によって表される。＜1＞

$$Q_u = Q_{ut} + Q_{ua} = \mu_t \cdot \sigma_y (a_t + \gamma \cdot a_{tm}) + \mu_a \cdot N \quad \dots (1)$$

ここで、 $\mu_t = \xi / \lambda$ ($\lambda = H/D$: 高径比、 ξ : 係数)

$$\mu_a = (1 - \eta) / 2 \lambda \quad (\eta = N / b D \sigma_s)$$

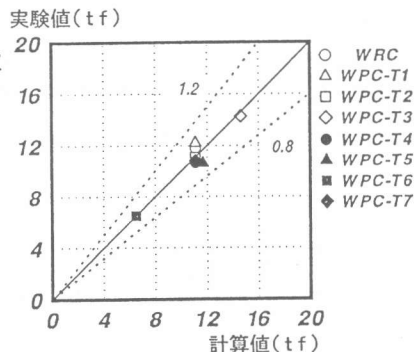


図-13 実験値と計算値の比較

で、見掛けの摩擦係数を示す。また a_t 、 a_{tm} 、 σ_y は接合筋の断面積、中央筋の断面積及び降伏点強度、 γ は中央筋の位置に関する係数(中央のとき $\gamma = 0.5$)、 σ_s はコンクリート圧縮強度、 b 、

Dは壁幅及び成を示す。

せん断伝達能力式(1)^{<1>}において軸方向力が作用する場合、 $\xi = 1.06$ 、また軸方向力がない場合、 $\xi = 0.98$ と仮定して計算した結果と曲げせん断実験によって得られた最大荷重の結果の関係を図-13にプロットした。これより計算値は実験値の $\pm 20\%$ の範囲にあり、接合界面のせん断伝達能力をよく推定しているといえる。

5. まとめ

モルタル充填式スリーブ継手を有するP C a耐力壁の曲げせん断実験及び理論解析から、次の知見が得られる。

- (1) 全試験体にいえる、P C a部材のスリーブ継手のかぶり厚さが小さいことと接合界面付近の壁の横筋の配筋不足により、接合界面と継手端部間のコンクリートの支圧効果が大きくなったため、P C a部材は最終的にかぶりコンクリートの剥落を生じた。(図-5)
- (2) 最大荷重について、WRC(RC部材)WPC-T2(7°モタイ7°)とにほとんど差はみられなかった。(図-8)
- (3) 中央筋を配することは、最大荷重の増加に寄与する。(図-8)
- (4) 全体変形に対する変形成分の割合については、全試験体に共通して正サイクルで回転変形が50%以上、負サイクルですべり変形が50%前後という結果となった。(図-9)
- (5) 敷モルタル部分にグラウト材を使用し、かさ上げ高さを0mmとすることは、最大荷重の増加、エネルギー吸収能力の増加に寄与する。(図-10)
- (6) 全試験体において等価粘性減衰定数は、最大荷重時で、14~16%の間に存在する。(図-11)
- (7) パネル部鉛直方向接合筋にD13、脚部鉛直方向接合筋にSD345を使用、またスリーブ補強にスパイラル筋を使用しても、多少の耐力の減少があるが、ほとんど構造性能に変わりはないといえる。(図-6~8)
- (8) せん断伝達能力式(1)^{<1>}を用いて計算した結果と曲げせん断実験によって得られた最大荷重の結果から、計算値は実験値の $\pm 20\%$ の範囲にあり、接合界面のせん断伝達能力をよく推定しているといえる。(図-13)

以上より、モルタル充填式スリーブ継手はP C a耐力壁においても連続鉄筋と同等あるいは継手固有の特性からそれ以上の性能を発揮していると考えられ、またほとんどの影響因子も接合界面のせん断伝達に与える影響に関して、R C部材、プロトタイプと同等あるいはそれ以上の構造性能を発揮していることが確認された。

しかし、本実験ではまとめ(1)のスリーブ継手のかぶり厚さが小さいことと接合界面近傍に横補強筋を配さなかったことが接合界面のせん断伝達挙動に影響を与えたように見受けられる。今後は、これらの要因を考慮した実験を継続したく思っている。

参考文献

- <1> 槇谷榮次、王 励、小曾根茂雄、謝 爽：
高強度鉄筋用機械式継手を有するP C a部材の力学的挙動に関する研究、日本建築学会、構造工学論文集、Vol.40B 1994年3月
- <2> 小川祥平、槇谷榮次、謝 爽：
接合幅を有するプレキャスト部材接合部ダウエル筋のせん断伝達、コンクリート工学年次論文報告集第16巻2号 1994年6月